Rev. Fitotec. Mex. Vol. 22. 27-41. 1999

VARIABILIDAD EN CARACTERES MORFOLÓGICOS DE COLECTAS DE CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R. y P.)

VARIABILITY IN MORPHOLOGICAL TRAITS OF CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R. & P.) ACCESSIONS

José Luis Chávez Servia[1] y Fernando Castillo González[1]

RESUMEN

Con la finalidad de hacer un muestreo de frutos de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.) y valorar la variabilidad morfológica durante la colección de material genético se realizó exploraciones y colectas en siete estados de la República Mexicana conjuntando 84 poblaciones nativas de regiones templadas y semifrías con ubicación entre 1572 y 2700 m de altitud. Durante la colecta se registró características de fruto, número de semillas y tipo de flor cuando fue posible. Los análisis de componentes principales determinaron que la longitud del fruto, ancho del fruto, número de lóculos, semillas por lóculo y por fruto, fueron las de mayor valor clasificatorio. El análisis de conglomerados y el de discriminación permitieron clasificar a las colectas en grupos contrastantes: por el tamaño del fruto en grandes y pequeños (alargados, casi redondos o tipo manzana), el número de lóculos (menos de dos, dos o más de dos) y la cantidad de semilla por fruto y por lóculo, así como sus combinaciones.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Capsicum pubescens, diversidad morfológica, componentes principales, conglomerados, discriminante.

SUMMARY

To sample chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.) fruits and assess diversity while prospecting is done based on fruit morphology, explorations and collecting was done in seven states of the Mexican Republic; 84 native populations were assembled from temperate and semi-cold regions in between 1572 to 2700 m altitude. During the collection, traits of flower, fruit size and number of seeds per trait were recorded. The principal component analysis determined that fruit length, fruit width, number of seeds per fruit and per *loculus* were the best classifying traits. The cluster and discriminant analysis were useful to separate the accessions in contrasting groups: by fruit size in larges or smalls (elongated, round or apple shape), the number of *loculus* (less than two, two or more than two), and seeds per fruit and *loculus*, as well as their combinations.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Capsicum pubescens, morphological diversity, principal components, cluster, discriminant analysis.

INTRODUCCIÓN

Capsicum pubescens es una de las cinco especies de chile cultivadas en América, cuyas características taxonómicas distintivas, establecidas hasta el momento, son la semilla negra y corola morada. Según Heiser y Smith (1948, 1953) el *C. pubescens* fue introducido a México en la primera mitad del siglo XX; sin embargo, su origen aún es un misterio, ya que no se conoce su forma silvestre. Eshbaugh (1974) indica que los tipos de frutos más pequeños de la región de Perú y Bolivia pueden pertenecer a la forma ancestral, y postula que dichos frutos fueron introducidos en hábitats y elevaciones similares en América Central, de donde posteriormente pasaron a México. Rick (1950) plantea que los únicos sitios (Andes) donde la forma silvestre pudo haberse desarrollado, han sido ocupados por el hombre y sus cultivares; en tal caso, las formas silvestres se habrían recombinado con las formas domesticadas a un grado tal que tuvieron que haber perdido muchas de sus características originales, por lo que

[1] Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 56230. Tel. y Fax: 01(595) 2-0262

Fecha de recepción: 20 de Octubre de 1998.
Fecha de aprobación: 22 de Diciembre de 1998.

es difícil distinguirlas.

El Centro Sudamericano (Ecuador-Perú-Bolivia) es la región de mayor diversidad de C. *pubescens* de acuerdo con la zonificación de Hawkes (1991); afirmación fundamentada en la variación genética reportada por Heiser y Smith (1948), Rick (1950) y Eshbaugh (1974), entre otros.

En chile como en otras especies, la mutación es una fuente de variación genética expuesta a la selección natural o humana (Pickersgill y Heiser, 1976); sin embargo, la aparición de genes nuevos no es una garantía para que persistan, pues para que un gen mutante sustituya a uno del tipo silvestre, hay que considerar el sistema de mejoramiento del cultivo, el tipo de acción génica, así como la intensidad de selección sobre el nuevo mutante.

Bajo domesticación, el género *Capsicum* ha perdido el mecanismo de dispersión como consecuencia del cultivo continuo, ya que el hombre ha seleccionado de manera consciente o inconsciente plantas con frutos no deciduos que permanecen en la planta hasta ser cosechados. La posición de los frutos también cambió de erecta a pendiente. El tamaño, forma y en algunos casos el color del fruto, también varían enormemente, principalmente cuando hay selección humana. En algunos casos parece haberse incrementado la frecuencia de autopolinización. Cuando se compara las variedades silvestres con las cultivadas se observa que las primeras tienen estilos largos excertos arriba de las anteras, mientras que en las cultivadas el estigma está cerca o al nivel de las anteras, por lo que la autopolinización es más frecuente (Pickersgill, 1969).

En México, la variación genética de *C. pubescens* podría pensarse que es estrecha al señalar que el material cultivado provino del mismo origen. Sin embargo, existen evidencias que indican la presencia de variación en caracteres de interés agronómico, producto de la recombinación genética natural y de la selección practicada por los productores (Chávez, 1995). Además, se ha detectado una variante genética importante como es la coloración blanca de la corola en plantas cultivadas por los agricultores (producto quizás de mutaciones génicas); carácter relevante pues es una variante que hasta el momento no se había reportado ni en la región de origen (Chávez, 1992).

En México se tienen escasas evidencias de la distribución del cultivo y menos de un estudio sistemático de la diversidad morfológica y genética de la especie, a pesar de la gran demanda regional del producto basada en el color, el sabor picante y el aroma característico de sus frutos. Es una de las especies de *Capsicum* de mayor pungencia (más de 100 unidades Scoville). Los capsaicinoides que presenta el *C. pubescens* en mayor proporción (76 a 86%) son la capsaicina y la hidrocapsaicina en una relación 1:1.5, donde la segunda se concentra en mayores proporciones que en *C. annuum*, *C. frutencens* y *C. chinense*. El aroma que desprende el fruto es una combinación de ésteres de cinco y seis carbonos, acoholes, carbonilos, ácidos carboxílicos, prazina y terpenos, entre otros (Govindarajan, 1987). La producción de más de 200 hectáreas cultivadas en los estados de México y Michoacán no logran satisfacer la demanda regional (SARH, 1994) y menos aún la del Distrito Federal; por ejemplo, una pequeña procesadora ubicada en el Estado de México no logra satisfacer su demanda semanal ya que tiene la capacidad de procesar hasta cuatro toneladas de producto fresco. Por todo esto, es importante fundamentar la distribución y el conocimiento de la diversidad morfológica de la especie para su aprovechamiento directo o mediante un programa de mejoramiento. Con estas bases se planteó el presente trabajo con el objetivo de colectar muestras de frutos en varias regiones y valorar la variabilidad de los caracteres morfológicos registrados durante la colección de material genético de *C. pubescens*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético utilizado en este trabajo estuvo constituido por un total de 84 poblaciones nativas de chile manzano, que se obtuvieron en viajes de exploración y colecta en los estados de Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla, Morelos, México y Michoacán. El período de colecta fue de julio de 1995 a enero de 1996. Las zonas geográficas exploradas comprendieron una altitud entre 1560 y 2720 msnm, donde el clima predominante es de templado a semifrío con lluvias en verano y seco en invierno; las temperaturas promedio mensuales son de 8 a 12° C; en el mes más cálido la temperatura excede los 18° C y en el mes más frío baja por debajo de los 0° C; las precipitaciones son mayores a 500 mm y el promedio anual es de 800 a 1100 mm. La localización geográfica de los lugares de colecta se presenta en la Figura 1 y Cuadro 1.

Durante la colecta del material se evaluó los caracteres morfológicos del fruto, principalmente los que se presentan en el Cuadro 2, basándose en los descriptores morfológicos para *Capsicum* propuesto por IPGRI, AVRDC y CATIE (1995). Cabe hacer mención que la información sobre flores no se obtuvo en todas las colectas, puesto que en algunos casos la muestra provenía del mercado local. Posterior a la colecta y caracterización del fruto, se procedió a la extracción de la semilla en la misma semana en que se había obtenido los frutos, debido a que la consistencia carnosa del fruto limita su conservación por tiempo prolongado (no más de 10 días), contrariamente a lo que puede realizarse con los frutos de otras especies de chile que se pueden deshidratar con cierta facilidad.

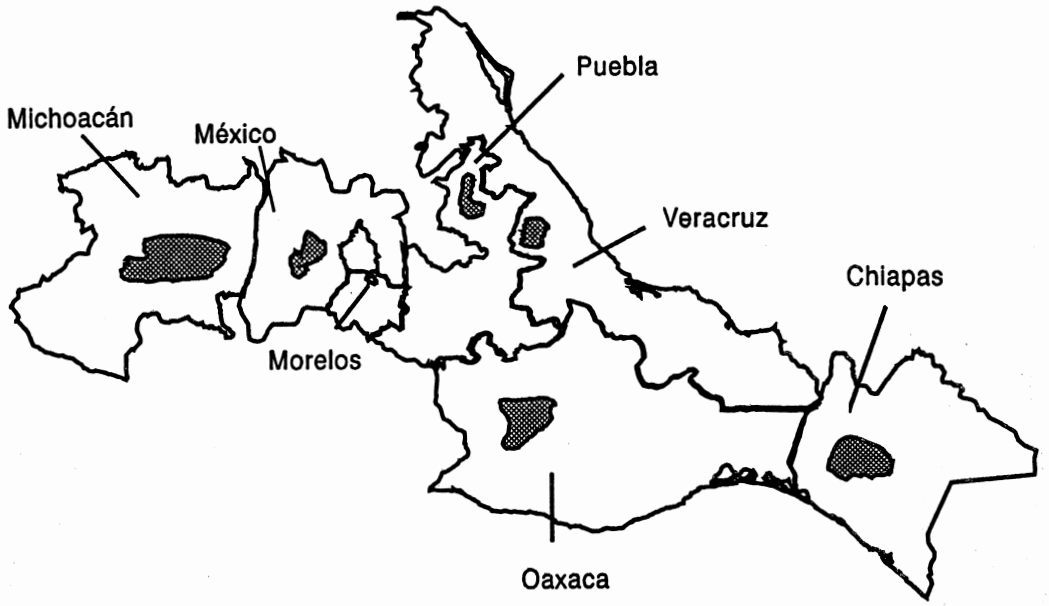


Figura 1. Distribución geográfica de C. *pubescens* de acuerdo con las colectas realizadas.

Cuadro 1. Relación de muestras colectadas de chile manzano y ubicación geográfica del sitio de muestreo.

Registro de colecta	Sitio de colecta			Altitud (msnm)	Longitud	Latitud	Tipo de muestra
	Localidad	Municipio	Estado				
CP 48	Chenalho	Chenalho	Chiapas	1600	92° 37′	16° 32′	Masa
CP 49	Chenalho	Chenalho	Chiapas	1600	92° 37′	16° 32′	Masa
CP 50	Shoctoc	Mitontic	Chiapas	1530	92° 37′	16° 52′	Individual
CP 51	Jiltic	San Juan Chamula	Chiapas	1800	95° 37′	16° 51′	Individual
CP 52	San Cristóbal de las Casas	San Cristóbal de las Casas	Chiapas	2100	92° 38′	16° 44′	Masa¶
CP 53	San Cristóbal de las Casas	San Cristóbal de las Casas	Chiapas	2100	92° 38′	16° 44′	Masa¶
CP 54	Cuxtitale	San Cristóbal de las Casas	Chiapas	1830	92° 36′	16° 44′	Individual
CP 56	Amatenango del Valle	Amatenango del Valle	Chiapas	1740	92° 26′	16° 31′	Individual
CP 57	Guadalupe	Teopisca	Chiapas	1770	92° 26′	16° 31′	Individual
CP 58	San Cristóbal de las Casas	San Cristóbal de las Casas	Chiapas	2100	92° 38′	16° 44′	Masa¶
CP 59	Las Piedrecitas	San Cristóbal de las Casa	Chiapas	2310	92° 35′	16° 42′	Masa
CP 60	Huajuapan de León	Huajuapan de León	Oaxaca	1572	97° 47′	17° 48′	Masa¶
CP 61	San Andrés Chicahuaxtla	Putla	Oaxaca	2440	97° 58′	17° 10′	Masa
CP 62	San Andrés Chicahuaxtla	Putla	Oaxaca	2440	97° 58′	17° 10′	Masa
CP 63	Huajuapan de León	Huajuapan de León	Oaxaca	1572	97° 47′	17° 48′	Masa¶
CP 64	San Andrés Chicahuaxtla	Putla	Oaxaca	2440	97° 58′	17° 10′	Masa
CP 65	Santa Catarina Ticua	Chacaltongo	Oaxaca	2000	97° 40′	17° 20′	Individual
CP 66	San Andrés Chicahuaxtla	Putla	Oaxaca	2440	97° 58′	17° 10′	Masa
CP 67	Santiago Tejupan	Santiago Tejupan	Oaxaca	2140	97° 29′	17° 40′	Masa
CP 68	San Andrés Chicahuaxtla	Putla	Oaxaca	2440	97° 58′	17° 10′	Individual
CP 69	San Bartolo	Tlaxiaco	Oaxaca	2060	97° 40′	17° 16′	Individual
CP 70	Huajuapan de León	Huajuapan de León	Oaxaca	1572	97° 47′	17° 48′	Masa¶
CP 71	San Francisco	Ixtapan de la Sal	México	1700	99° 40′	18° 50′	*Masa*
CP 72	San Francisco	Ixtapan de la Sal	México	1700	99° 40′	18° 50′	Masa
CP 73	San Francisco	Ixtapan de la Sal	México	1700	99° 40′	18° 50′	Masa
CP 74	San Simonito	Tenancingo	México	1842	99° 36′	18° 58′	Masa
CP 75	Tenancingo	Tenancingo	México	1842	99° 36′	18° 58′	Masa
CP 76	Tenancingo	Tenancingo	México	1842	99° 36′	18° 58′	Masa
CP 77	Tenancingo	Tenancingo	México	1842	99° 36′	18° 58′	Masa
CP 78	Ocampo	Jalacingo	Veracruz	1700	97° 20′	19° 45′	Individual
CP 79	Jalacingo	Jalacingo	Veracruz	1700	97° 20′	19° 45′	Individual
CP 80	Jalacingo	Jalacingo	Veracruz	1700	97° 20′	19° 45′	Individual
CP 81	San Miguel	Tlapuala	Veracruz	2100	97° 14′	19° 43′	Individual
CP 82	Buenavista	Ario de Rosales	Michoacán	1840	102° 33′	19° 06′	Individual
CP 83	Urapa	Ario de Rosales	Michoacán	1790	102° 04′	19° 25′	Individual
CP 84	Urapa	Ario de Rosales	Michoacán	1790	102° 04′	19° 25′	Individual
CP 85	Urapa	Ario de Rosales	Michoacán	1790	102° 04′	19° 25′	Individual
CP 86	Urapa	Ario de Rosales	Michoacán	1790	102° 04′	19° 25′	Individual
CP 87	Urapa	Ario de Rosales	Michoacán	1790	102° 04′	19° 25′	Individual
CP 88	Urapa	Ario de Rosales	Michoacán	1790	102° 04′	19° 25′	Individual
CP 89	Urapa	Ario de Rosales	Michoacán	1790	102° 04′	19° 25′	Individual
CP 90	Urapa	Ario de Rosales	Michoacán	1790	102° 04′	19° 25′	Masa

Continúa....

Cuadro 1. Continuación...

Registro de colecta	Sitio de colecta			Altitud (msnm)	Longitud	Latitud	Tipo de muestra
	Localidad	Municipio	Estado				
CP 91	Urapa	Ario de Rosales	Michoacán	1790	102° 04′	19° 25′	Individual
CP 92	Chuparrosa	Ario de Rosales	Michoacán	1900	102° 04′	19° 25′	Individual
CP 95	Santa María	Tlalpujahua	Michoacán	2720	100° 10′	19° 48′	Individual
CP 97	El Moral	Ario de Rosales	Michoacán	1960	101° 40′	19° 03′	Individual
CP 98	El Moral	Ario de Rosales	Michoacán	1960	101° 40′	19° 03′	Individual
CP 99	El Moral	Ario de Rosales	Michoacán	1960	101° 40′	19° 03′	Individual
CP 100	El Moral	Ario de Rosales	Michoacán	1960	101° 40′	19° 03′	Individual
CP 101	El Moral	Ario de Rosales	Michoacán	1960	101° 40′	19° 03′	Individual
CP 102	El Moral	Ario de Rosales	Michoacán	1960	101° 40′	19° 03′	Masa
CP 103	El Moral	Ario de Rosales	Michoacán	1960	101°40'	10°03'	Individual
CP 104	El Moral	Ario de Rosales	Michoacán	1960	101°40'	19°03?	Individual
CP 105	El Moral	Ario de Rosales	Michoacán	1960	101°40'	19°03?	Individual
CP 106	El Moral	Ario de Rosales	Michoacán	1960	101°40'	19°03?	Individual
CP 107	El Moral	Ario de Rosales	Michoacán	1960	101°40'	19°03?	Individual
CP 108	Los Puentes	Ario de Rosales	Michoacán	1880	102°40'	19°02'	Masa
CP 109	Buenavista	Ario de Rosales	Michoacán	1840	102°33'	19°05'	Masa
CP 117	Zoatzingo	Zoatzingo	Puebla	2353	98° 53′	19° 31′	Masa
CP 118	Guerrero	Chacaltongo	Oaxaca	2700	97° 40′	17° 05′	Individual
CP 204	Cuajomulco	Huitzilac	Morelos	2550	99° 18′	19° 08′	Individual
CP 205	Huauahuaxtla	Cuetzalan	Puebla	1625	97° 30′	20° 05′	Masa
CP 206	Tamoanco	Tetela de Ocampo	Puebla	2060	97° 45′	19° 45′	Masa
CP 207	San Francisco Apoxtla	Zacapoaxtla	Puebla	2045	97° 40′	19° 50′	Individual
CP 208	Tatoxtac	Zacapoaxtla	Puebla	2045	97° 40′	19° 50′	Individual
CP 210	Atecoxtoc	Chignahuapan	Puebla	2370	97° 57′	19° 45′	Individual
CP 211	Atecoxtoc	Chignahuapan	Puebla	2370	97° 57′	19° 45′	Individual
CP 212	La Cañada	Tetela de Ocampo	Puebla	1700	97° 48′	19° 47′	Individual
CP 213	El Crucero	Tetela de Ocampo	Puebla	1860	97° 47′	19° 48′	Individual
CP 214	Tetozinapa	Tetela de Ocampo	Puebla	2070	97° 44′	19° 49′	Individual
CP 215	Tecuicuilco	Tetela de Ocampo	Puebla	2070	97° 44′	19° 49′	Individual
CP 216	Tecuicuilco	Tetela de Ocampo	Puebla	2070	97° 44′	19° 49′	Individual
CP 217	Zacapoaxtla	Zacapoaxtla	Puebla	1830	97° 35′	19° 53′	Individual
CP 218	Xalacapan	Zacapoaxtla	Puebla	2045	97° 35′	19° 53	Masa
CP 219	Xalacapan	Zacapoaxtla	Puebla	2045	97° 35′	19° 53′	Masa
CP 220	Comaltepec	Zacapoaxtla	Puebla	2045	97° 35′	19° 53′	Masa
CP 221	Xalacapan	Zacapoaxtla	Puebla	2045	97° 35′	19° 53′	Masa
CP 222	Xaltikpac	Zacapoaxtla	Puebla	2045	97° 35′	19° 53′	Masa
CP 326	La Labor	Temascaltepec	México	1900	99° 53′	19° 01′	Individual
CP 327	La Labor	Temascaltepec	México	1900	99° 53′	19° 01′	Individual
CP 333	Urapa	Ario de Rosales	Michoacán	1790	101° 42′	19° 12	Individual
CP 334	Urapa	Ario de Rosales	Michoacán	1790	101° 42′	19° 12	Individual
CP 2031	Perote	Perote	Veracruz	2394	97° 15′	19° 30′	Masa[1]
CP 2032	Perote	Perote	Veracruz	2394	97° 15′	19° 30′	Masa[1]

[1]Muestra de mercado local y se asume que provino de diferentes plantas. Se designa muestreo en masa a la obtención de frutos de más de una planta en el cultivo del productor.

Cuadro 2. Caracteres medidos en las colectas de chile manzano de acuerdo con los descriptores para *Capsicum* (IPGRI, AVRDC y CATIE 1995).

Código	Descripción del carácter	Escala
MC	Margen de cáliz	Ordinal; 3:liso a 7:dentado
EF	Tipo de epidermis del fruto	Ordinal; 1:lisa a 2:corrugada
FPA	Número de flores por axila	Numérica
NP	Número de pétalos en la corola	Numérica
NS	Número de sépalos en el cáliz	Numérica
LF	Longitud promedio del fruto	cm
AF	Ancho promedio del fruto	cm
SPF	Número promedio de semilla por fruto	Numérica
LPF	Número promedio de lóculos por fruto	Numérica
SPL	Número promedio de semillas por lóculo	Numérica
CF	Color del fruto en estado maduro	Ordinal; 2:amarillo a 5:rojo
FF	Forma del fruto	Ordinal; 1:elongado a 6:manzana
CBF	Cuello en la base del fruto	Binaria; 0:ausente, 1:presente
ATF	Arrugamiento transversal del fruto	Ordinal; 0:liso a 7:corrugado
UFP	Unión del fruto y el pedicelo	Ordinal; 1:aguda a 9:lobulado
FAF	Forma del ápice del fruto	Ordinal; 3:aguda a 7:hundida

Métodos estadísticos utilizados

Para medir la variación morfológica agronómicamente importante, como lo es el fruto, en las 84 colectas se utilizó las variables cuantitativas LF, AF, SPF, LPF, SPL, CF, FF, CBF, UFP y FAF, descritas en el Cuadro 2. Se realizó un primer análisis de componentes principales (CP) para determinar las variables que explican en mayor grado la variabilidad de las colectas (Pla, 1986). Los resultados de ese análisis permitieron determinar que las variables LF, AF, SPF, LPF y SPL fueron las de mayor valor clasificatorio, mismas que nuevamente fueron incluidas en un segundo análisis de CP, ya que al no incluir en el análisis las variables CF, FF, CBF, UFP, y FAF el porcentaje de variación explicada con los tres primeros componentes principales se mejoró notablemente de 61.51 % a 91.86 %; en este trabajo se presenta y discute sólo el segundo análisis. La variación de las variables morfológicas que no se incluyeron en este último análisis se presenta en forma gráfica como frecuencias de cada clase.

Una vez determinadas las variables de mayor valor descriptivo, se procedió a realizar un análisis de conglomerados jerárquico (ACJ) mediante el ligamiento promedio a partir de las distancias euclidianas; en este caso los individuos que se agrega a los grupos ya existentes, lo hacen a un nivel de disimilitud igual a la media de las distancias del mismo respecto a todos los miembros del grupo. Con la matriz de distancias se construyó un dendrograma (McNeill, 1974).

Después de construir el dendrograma, las 84 colectas se clasificaron en 9 grupos, utilizando como criterio de clasificación una distancia de 0.5 entre grupos. Con el propósito de verificar la clasificación adecuada y significativa entre los grupos, se realizó un análisis de varianza con un criterio de clasificación (efecto de grupos), así como un análisis discriminante (AD) múltiple para comparar las diferencias entre los nueve grupos con la ayuda de las variables clasificatorias mencionadas (Mardia *et al.*, 1979). En este último análisis se estima las distancias de Mahalanobis mediante la fórmula siguiente:

$$D^2_{(ij)} = (X_i - X_j)' \; W^{-1} \; (X_i - X_j)$$

donde:

W = Matriz de varianzas-covarianzas,
X_i = Vector de observaciones del grupo i,
X_j = Vector de observaciones del grupo j.

Para probar la diferencia significativa entre los grupos se utilizó el estadístico Lambda de Wilks (Λ).

RESULTADOS

Variables cuantitativas

En el análisis de componentes principales con las variables de mayor valor descriptivo de la varianza observada, se seleccionó los dos primeros componentes, que explican el 74.47 % de la variabilidad total (Cuadro 3); corresponde el 48.82 % al primero (CP1) que está determinado en mayor grado por el ancho del fruto y la cantidad de semillas en el fruto (AF, SPF y SPL), mientras que la longitud del fruto y el número de lóculos (LF y LPF) determinaron al segundo componente (CP2) de manera negativa y positiva, respectivamente, explicando un 25.65 % de la variabilidad total.

Un indicador de la contribución de cada variable en los componentes principales es determinado mediante los coeficientes de determinación (r^2) de la regresión de cada componente sobre las variables originales (Cuadro 4). El ancho del fruto, semillas por fruto y por lóculo tuvieron una importante contribución a la formación del primer componente con r^2's no menores a 0.6; para el segundo componente, fundamentalmente estuvo determinado por el número de lóculos por fruto (r^2= 0.86). Todo esto significa que si se consideran los dos primeros componentes principales se habrá explicado del 60.7 al 89.2 % de la variación en las colectas de chile manzano con las variables LF, AF, LPF, SPF y SPL.

Cuadro 3. Valores y vectores característicos del análisis de componentes principales de las variables de mayor valor descriptivo de 84 poblaciones de chile manzano.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
a). Valores característicos					
Valor característico	2.4411	1.2827	0.8694	0.3415	0.0651
Proporción de varianza global explicada (%)	48.82	25.65	17.38	6.83	1.30
Proporción de varianza acumulada (%)	48.82	74.47	91.86	98.69	1.000
b). Vectores característicos					
LF	0.390	-0.472	0.494	0.615	0.033
AF	0.498	0.032	0.509	-0.700	0.027
LPF	0.107	0.820	0.269	0.324	0.370
SPF	0.561	0.282	-0.318	0.153	-0.692
SPL	0.522	-0.150	-0.568	-0.024	0.617

Cuadro 4. Coeficientes de determinación (r^2) de las variables originales con respecto a cada componente principal.

Variable	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
LF	0.3721	0.2859	0.2123	0.1295	<0.0001
AF	0.6055	0.0014	0.2254	0.1676	<0.0001
LPF	0.0281	0.8639	0.0630	0.0360	0.0089
SPF	0.7701	0.1024	0.0882	0.0081	0.0312
SPL	0.6652	0.0292	0.2806	0.0002	0.0248

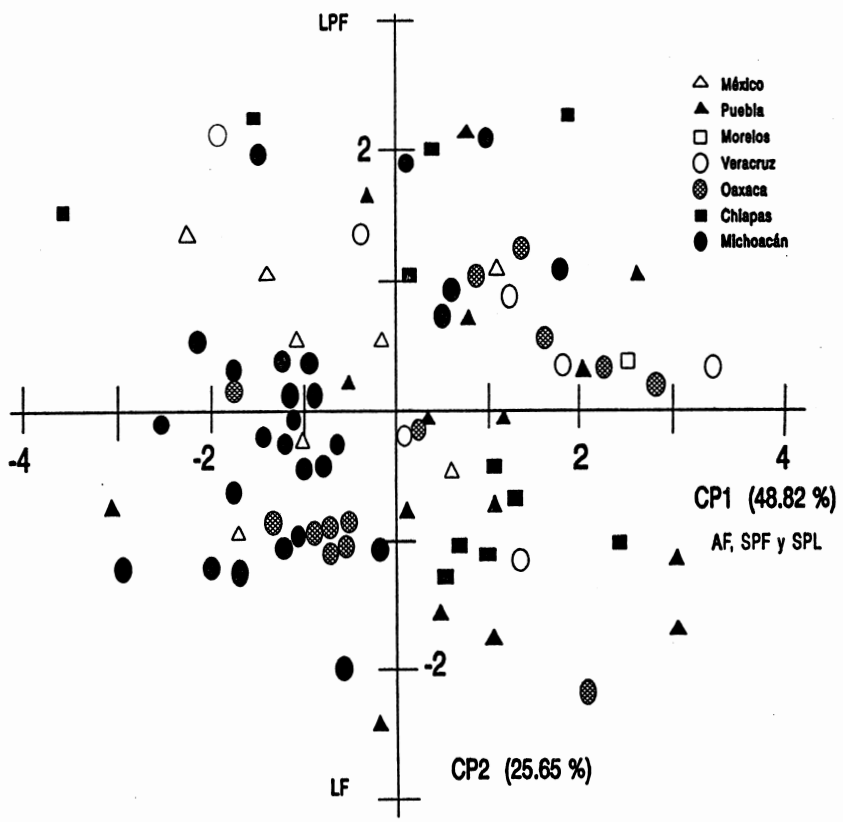


Figura 2. Representación de la variabilidad de 84 muestras de chile manzano en función de los dos primeros componentes principales de acuerdo al origen geográfico.

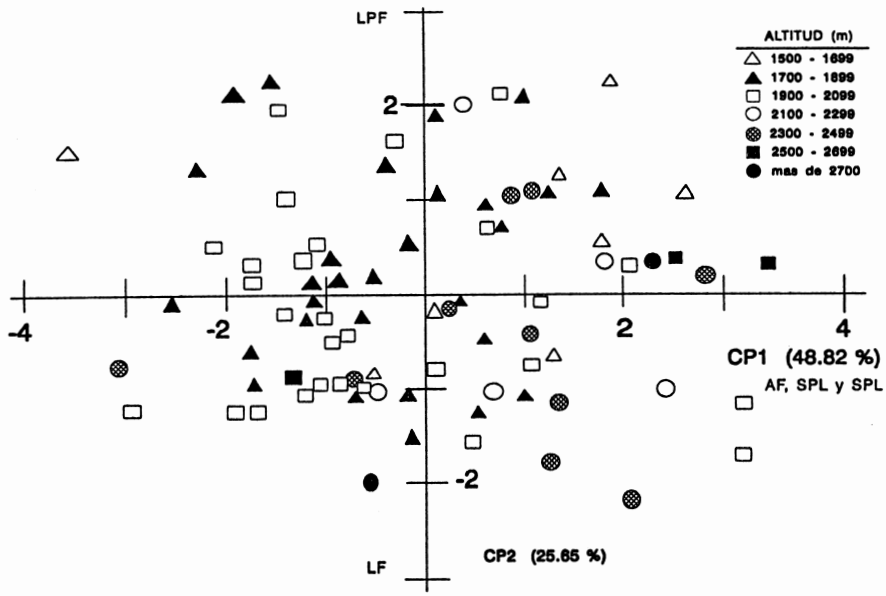


Figura 3. Representación gráfica de la variabilidad de 84 muestras de chile manzano en función de los dos primeros componentes principales de acuerdo a la altitud del punto de colecta.

En la Figura 2 se muestra la distribución de las colectas y las variables examinadas en el plano determinado por el primer (CP1) y segundo (CP2) componentes principales. En general se observó que el ancho del fruto (AF), semillas por fruto (SPF) y semillas por lóculo (SPL) presentaron una estrecha relación con el CP1 que a su vez difieren de la longitud del fruto (LF) y el número de lóculos por fruto (LPF). Las colectas provenientes de Puebla ubicadas a la derecha del eje horizontal (Figura 2) presentaron una asociación importante con AF, SPF y SPL, las que difieren de las provenientes de Michoacán, graficadas en el extremo contrario del eje. Las colectas con los mayores atributos fenotípicos, para fines de mejoramiento, son las del cuadrante superior derecho.

Las colectas con los menores atributos morfológicos del fruto (cuadrante superior izquierdo) son originarias de localidades con altitudes que comprenden un intervalo de 1500 a 2100 msnm (Figura 3). Las dos colectas de las regiones de más de 2700 m se asocian una con la menor longitud de fruto y la otra con valores altos de AF, SPF y SPL

La media de las características de fruto muestra que las plantas cultivadas en México son en promedio de 4.6 cm de largo, 3.8 cm de ancho con 2.3 lóculos por fruto, con un promedio de 51.4 semillas por fruto y 22.6 semillas por lóculo (Cuadro 5).

Variables cualitativas

Las características morfológicas no incluidas en el análisis de componentes principales se presentan de manera gráfica en la Figura 4 como frecuencia de cada clase. Las flores se caracterizaron por presentar cáliz (MC) dentado (7) y en menor proporción un margen intermedio (5). Una flor (1) por nudo o axila (FPA) fue lo más frecuente (86 %), seguida de dos (2) con el 11.1% y con tres o más (3) el 5.6% de las colectas para esta característica. El número de

Cuadro 5. Estadísticas simples de las variables de mayor valor descriptivo de 84 colectas de chile manzano.

Variable	Media	Desv. Estándar	C. V. (%)
LF	4.665	0.803	17.21
AF	3.824	0.633	16.56
LP	2.351	0.331	14.16
SPF	51.401	13.456	26.18
SPL	22.675	6.221	27.43

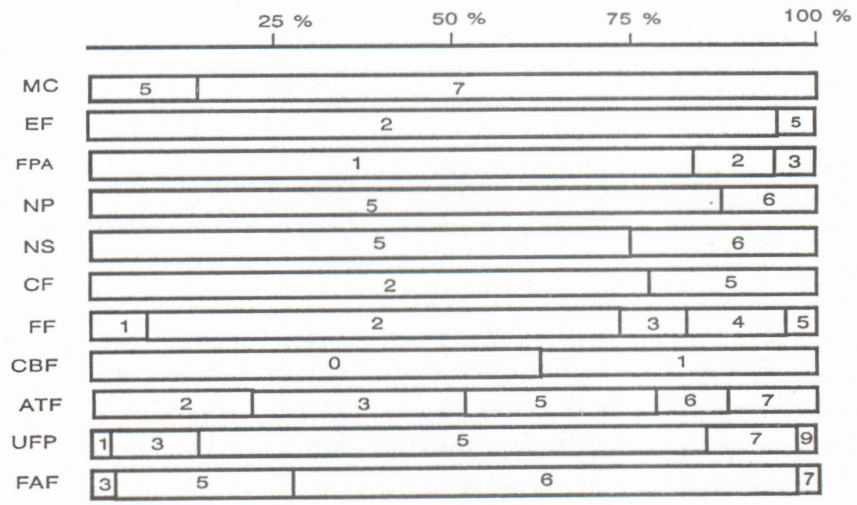


Figura 4. Frecuencia de valores observados en cada carácter evaluado de acuerdo con las escalas propuestas por IPGRI, AVRDC y CATIE (1995).

de pétalos (NP) y sépalos (NS) fue característico de la especie, de 5 a 6 con más regularidad el de 5.

Es notoria la gran variación entre las 84 colectas provenientes de siete estados de la República Mexicana para tipo de fruto. Se observó frutos de color amarillo (2) y rojo (5) al madurar (CF), siendo los más frecuentes los de color amarillo. En cuanto a la forma (FF) éstos fueron elongados (1), casi redondos (2), triangulares (3), acampanados (4) y en bloque (5), con un predominio de los frutos de forma redonda (66.2 %). El fruto también se observó con un cuello (CBF) abultado en su base (1), aunque fue más frecuente observar frutos sin él (0). Cuando se seccionó el fruto en corte transversal el arrugamiento (ATF) era de ligero (2) a muy corrugado (7). La unión del fruto con el pedicelo (UFP) fue en su mayoría truncado (5) y obtuso (3), y en menor proporción agudo (1), cordado (7) y lobulado (9). En referencia a la forma del ápice (FAF), mayoritariamente fue ligeramente hundido (6) y romo (5). Por la característica diferencial del fruto de chile manzano de desarrollar frutos carnosos, en las colectas efectuadas el 96.2 % fueron de superficie (EF) lisa (Figura 4).

Conglomerados

Una vez que se ponderó el valor descriptivo de las variables, se procedió realizar el análisis de conglomerados, utilizando las variables LF, AF LPF, SPF y SPL para obtener la matriz de distancias euclidianas entre las colectas y con ella realizar el agrupamiento mediante el ligamiento promedio. La representación del análisis fue a través de un dendrograma (Figura 5), donde se observan diferencias importantes. A una distancia de 0.5 se determinan 9 grupos de colectas particularmente importantes; en el grupo 1 se encuentran las colectas CP 48, CP 86, CP 205, CP 68, CP 118, CP 81 y CP 204, y así sucesivamente hasta el grupo 9 que incluye a las colectas CP 101, CP 211 y CP 326.

El análisis de conglomerados permitió separar a las colectas CP 57 de Chiapas, CP 61 de Oaxaca y CP 117 de Veracruz como grupos independientes, donde la definición de los grupos se realizó esencialmente por el tamaño del fruto (largo y ancho) y la cantidad de semillas (SPF). Por ejemplo, el grupo **V** (colecta CP 117) se caracterizó por presentar un promedio de 5.48 y 4.22 cm de LF y AF, respectivamente, con el mayor número de semillas por fruto (86.8). De manera similar la separación del grupo **IV** (CP 61) se realizó por una combinación del menor número de lóculos en el fruto (1.67) y la segunda mayor longitud del fruto (5.47 cm). El grupo **III** (CP 57) se caracterizó por presentar frutos pequeños de 4.2 cm de largo, un número más o menos constante de 2 lóculos por fruto, así como reducida cantidad de semilla (48.5) por fruto (Cuadro 6). Por otro lado, el grupo **IX** agrupó a las colectas que presentaron la menor cantidad de semillas por fruto.

Para verificar la certeza del agrupamiento realizado se procedió a efectuar un análisis discriminante múltiple, el cual incluye en primera instancia un análisis de varianza para cada una de las variables (Cuadro 7). La prueba de F detectó diferencias significativas entre grupo para todas la variables, excepto para la longitud del fruto (LF). El coeficiente de variación respectivo entre grupos con la clasificación realizada no sobrepasa el 17.5 %. Todo esto indica que la clasificación realizada fue adecuada. Por otro lado, el estadístico Lambda de Wilks (Λ) también permitió confirmar la aseveración anterior, el cual presentó un valor de 312.27, estadísticamente significativo (α= 0.0001).

Cuadro 6. Valores promedio de las variables utilizadas para la formación de grupos y número de colectas dentro de cada grupo (entre paréntesis).

Variable	I (7)	II (12)	III (1)	IV (1)	V (1)	VI (13)	VII (33)	VIII (13)	IX (3)
LF	5.02	4.97	4.20	5.47	5.48	4.82	4.44	4.50	4.67
AF	4.38	4.19	3.50	3.87	4.22	4.07	3.63	3.57	3.14
LPF	2.61	2.47	2.00	1.67	2.50	2.43	2.24	2.25	2.33
SPF	75.42	65.93	48.50	61.67	86.8	56.61	46.10	35.86	25.97
SPL	30.14	27.78	39.70	40.70	37.70	23.95	21.00	15.47	12.17

Cuadro 6. Significancia de F del análisis de varianza de los nueve grupos formados en el análisis de conglomerados.

Variable	Significancia de F	C. V. (%)
LF	1.156 N.S.	17.08
AF	3.128 **	15.08
LPF	2.348 *	13.32
SPF	182.548 **	6.08
SPL	45.360 **	11.94

N.S. = No significativo al 0.05, *=Significativo al 0.05 y **= Significativo al 0.01

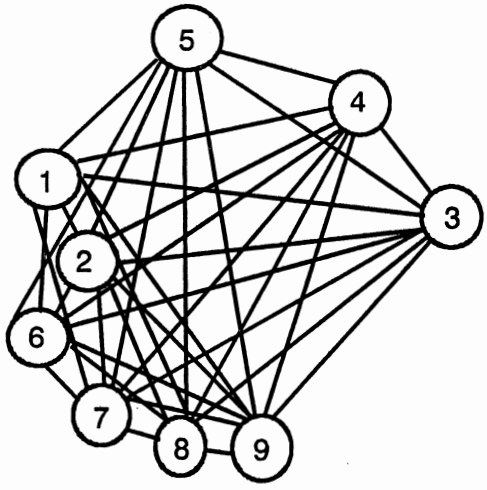


Figura 6. Representación gráfica de los grupos basados en los valores de la distancia generalizada de Mahalanobis (D^2).

Una representación gráfica del análisis discriminante es presentada en la Figura 6, basándose en los valores de la distancia de Mahalanobis entre grupos. Los valores de D^2 varían de 10.2 a 469.7, mostrándose una gran divergencia entre los grupos. Los valores máximos de divergencia de 338.3 y 469.7 se determinaron entre el grupo 5 con el 8 y 9, respectivamente. Es notoria la divergencia entre el grupo 8 y 9 con respecto a los grupos 5 y 4. La menor divergencia se cuantificó entre los grupos 1 y 2 (D^2 =10.2).

DISCUSIÓN

Los primeros reportes ubicaron al chile manzano en Veracruz y en el Distrito Federal (Heiser y Smith, 1948, 1953; Bravo, 1934); sin embargo, actualmente su distribución en México es más amplia. Durante la exploración y colecta del material genético se logró recorrer gran

parte de las zonas donde se distribuye el cultivo. De acuerdo con la zonificación geográfica de Tamayo (1980) las unidades orogénicas exploradas fueron 1) la Cordillera Neovolcánica de los estados de Michoacán, Morelos, México, Puebla y Veracruz donde se ubica primordialmente la mayor zona de cultivo de *C. pubescens*, aunque también se puede encontrar en Tlaxcala, Hidalgo, Querétaro, algunas zonas de Guanajuato y en regiones vecinales a Michoacán del estado de Jalisco, más al norte no se cultiva y en algunos caso ni se conoce. 2) En la Sierra Madre de Oaxaca o Alta Mixteca el cultivo de esta especie también es muy familiar, y por último en la unidad orogénica 3) de la Meseta Central de Chiapas es común ubicarlo en los municipios de San Cristóbal de las Casas, Amatenango del Valle, San Juan Chamula, entre otros. En Guerrero, Tabasco, Campeche, Quintana Roo y Yucatán no se cultiva. Todo esto indica que el chile manzano se distribuye en México regularmente desde Michoacán hasta Chiapas, excepto Guerrero, en zonas con elevaciones mayores a 1500 metros sobre el nivel del mar y sobre todo en climas templado y semifríos.

Los frutos colectados en las regiones exploradas permitieron cuantificar la variación de la especie en sus lugares de cultivo. En esas regiones, generalmente se observó como un cultivo de "traspatio"; es decir, como plantas de huerto o jardín próximas a sus casas y en ocasiones como pequeñas explotaciones comerciales; esto explica en parte que los frutos colectados presentan grandes variaciones en intervalos entre las formas extremas de 2.3 a 6.4 cm de longitud y de 2.6 a 5.5 cm de ancho; en algunos casos se encontró frutos de mayor tamaño que los reportados por Heiser y Smith (1948) que en su caso fueron de 2.5 a 3.7 de ancho. En cuanto a la forma, prácticamente redonda descrita por Heiser y Smith (1948), ésta también varió de manera importante en las colectas, la que presentó frutos casi redondos hasta "triangulares" (Figura 4), los que son muy similares a los de la región de Cuzco, Perú que presentan una característica literalmente aplanada, pero significativamente diferente de los de la región de Ambato, Ecuador que son redondos (Rick, 1950).

En este trabajo el tamaño del fruto y el número de semillas fueron las de mayor importancia en la determinación de la variabilidad de las colectas; resultados similares han sido reportados en otros cultivos como jitomate (*Lycopersicon esculentum* L.)(Simón *et al.*, 1994) y cacao [*Theobroma cacao*] (Bekele *et al.*, 1994) para realizar clasificaciones de material genético. Los análisis de componentes principales permitieron determinar que las variables LF, AF, LPF, SPF y SPL son las de mayor importancia para explicar la variación de las colectas, donde la LF fue la de menor contribución a la varianza total (Cuadros 3 y 4). La variación en características de flor y fruto permitió plantear las primeras clasificaciones en el género *Capsicum* (Eshbaugh, 1980) mediante análisis numérico. *C. pubescens* es una especie claramente distintiva por sus características de flor, fruto y semilla. En el presente caso cuando se analizó la variabilidad dentro de la especie, el fruto presentó gran variación en tamaño y forma (Cuadro 5 y Figura 4), ya que es una de las partes sobre las que más atención pone el productor, tal y como lo señalan Pickersgill *et al.* (1979), particularmente por ser la parte de consumo, de modo que la selección de tipos por diferentes agricultores provoca una importante variabilidad dentro de la especie. Estos autores destacan también que durante la primera fase de la domesticación, el cultivo, se producen diversas variantes hortícolas denominadas variedades locales.

El número de lóculos por fruto también presentó variación de 2 a 4, que son similares a los frutos de color rojo y amarillo de Arequipa y Cuzco, Perú, descritos en 1950 por Rick. Dentro de los lóculos el número de semillas desarrolladas presenta variaciones promedio de 23 a 87 semillas por fruto y de 10 a 41 por lóculo. Regularmente se encontró una estrecha relación

entre el mayor número de semillas y el mayor número de lóculos.

La marcada variación en características de fruto contrasta con la estrecha y en algunos casos inexistente variación de las características de la planta provenientes de diversas regiones del país. Por ejemplo, plantas que presentaron gran variación en fruto presentan esencialmente las mismas característica de hojas, tallos y flor. En sus lugares de distribución el chile manzano se caracterizó, en general, por presentar vellosidad abundante en hojas, tallos y ramas donde los entrenudos son alargados. Las flores pendientes a ligeramente erectas de una a tres por axila se observaron con el margen del cáliz dentado pronunciado o intermedio con 5 sépalos e igual número de pétalos morados en la corola; la garganta de la flor fue regularmente blanca en su base. Todas estas características son similares a las que presentan las plantas de Perú, Ecuador y Bolivia (Heiser y Smith, 1948; Rick, 1950; Eshbaugh, 1974, 1979).

El análisis de conglomerados representado por el dendrograma de la Figura 5 denota claras divergencias entre las colectas respecto a las característica de fruto. A una distancia euclidiana mínima de 0.5 unidades se determinaron nueve grupos significativamente diferentes cuya base de disimilaridad son las variables AF, LF, LPF, SPF y SPL. En general la variación encontrada en tamaño del fruto de chile manzano no fue sistemática en cuanto a la altitud y la ubicación geográfica del sitio de muestreo. Sin embargo, los agrupamientos revelaron cierta tendencia; un caso particular fue entre los grupos **III** (CP 57) y **V** (CP 117) de que a mayor altitud mayor tamaño y viceversa. Es decir, los frutos grandes del grupo **V** se cultivaron en una altitud de 2350 m y los frutos pequeños del grupo **III** se desarrollaron a 1770 msnm (Cuadro 6). En este sentido cabe mencionar que los frutos de mayor tamaño fueron encontrados en altitudes de 1900 a 2400 m donde el chile manzano parece expresar su mayor potencial.

La prueba de F, mostró que efectivamente existe una clara diferencia entre los grupos formados, excepto cuando se utiliza únicamente la variable LF (Cuadro 6). Asimismo el análisis discriminante confirmó los resultados de que la agrupación considerada a partir del dendrograma es confiable (Figura 6). Todo esto indica que existe en México gran variación en características de fruto y en menor grado en característica de la planta y flor, y además la variación en largo y ancho de fruto es tan grande que puede comparársele con la existente en Colombia y Ecuador de acuerdo con lo reportado por Eshbaugh (1979). Por otro lado, también se infiere que al existir dentro de cada grupo material genético que fue colectado en diferente origen geográfico, existe movimiento inevitable de germoplasma, principalmente a través del comercio, tal como fue comentado por algunos de los productores del sur del Estado de México quienes afirman que el primer material que se cultivó en esas regiones provino de Michoacán. Los grupos separados se presentan como un resumen en el Cuadro 5 con sus características de fruto.

CONCLUSIONES

Durante las exploraciones en siete estados de la República Mexicana se colectó 84 muestras de *Capsicum pubescens*, distribuidas en regiones con altitudes de 1572 a 2700 m. Las colectas de chile manzano presentaron gran variación en caracteres de planta, pero principalmente en fruto. De acuerdo con los análisis de componentes principales el tamaño del fruto (largo y ancho), número de lóculos y el número de semillas (por fruto y por lóculo) fueron las variables con el mayor valor clasificatorio. Los análisis de conglomerados y de discriminante clasificaron a las colectas en grupos contrastantes. Por el tamaño del fruto en grandes y pequeños (alargados, casi redondos o tipo manzana), por número de lóculos (menos de dos, dos y más de dos) y por la cantidad de semillas por fruto o por lóculo, así como sus combinaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Bekele, F. L., A. J. Kennedy, C. Mc David, F. B. Lauckner, and I. Bekele. 1994. Numerical taxonomic studies on cacao (*Theobroma cacao* L.) in Trinidad. Euphytica 75:231-240.

Bravo H., H. 1934. Estudio botánico acerca de las solanáceas mexicanas del género *Capsicum*. Anal. Inst. Biol. (México) 4:303-321.

Chávez S., J. L. 1992. Mejoramiento genético de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.). *In*: Resúmenes del Primer Encuentro de Ciencia y Tecnología del Sector Agropecuario y Forestal del Estado de México, 25-28 de noviembre. Toluca, Edo. de Méx. México. p. 80.

Chávez S., J. L. 1995. Descripción de una población de chile manzano colectada en el sur del Estado de México. Ciencias Agrícolas Informa 3:33-36.

Eshbaugh, W. H. 1974. Variation and evolution in *Capsicum pubescens* Ruiz y Pav. Amer. J. Bot. 61:42.

Eshbaugh, W. H. 1979. Biosystematic and evolutionary study of the *Capsicum pubescens* complex. Nat. Geog. Soc. Res. Report pp. 143-163.

Eshbaugh, W. H. 1980. The taxonomy of the genus *Capsicum* (Solanaceae). Phytologia 47:153-166.

Govindarajan, V. S. 1987. *Capsicum*-production, technology, chemistry and quality. III. Chemistry of the color, aroma and pungency stimuli. Crit. Rev. Food Sci. Nutri. 24:245-355.

Hawkes, J. G. 1991. Centros de diversidad genética vegetal en Latinoamerica. Diversity 1-2:7-9.

Heiser, Ch. B., Jr. and P. G. Smith. 1948. Observations on another species of cultivated pepper, *Capsicum pubescens* R. & P. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 52:331-335.

Heiser, Ch. B., Jr. and P. G. Smith. 1953. The cultivated *Capsicum* peppers. Econ. Bot. 7:214-227.

IPGRI, AVRDC y CATIE. 1995. Descriptores para *Capsicum* (*Capsicum* spp.). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia; Centro asiático para el Desarrollo y la Investigación relativos a los Vegetales, Taipei, Taiwán y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 51 p.

Mardia, K. V., J. T. Kent, and J. M. Bibby. 1979. Multivariate Analysis. Academic Press. London. 521 p.

McNeill, J. 1974. The handling of character variation in numerical taxonomy. Taxon 23:699-705.

Pickersgill, B. 1969. The domestication of chili peppers. *In*: The Domestication and Exploration of Plants and Animals. P. J. Ucko and G. W. Dombley (eds.). Duckworth, London. pp. 443-445.

Pickersgill, B. and Ch. B. Heiser. 1976. Cytogenetics and evolutionary change under domestication. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 275:55-69.

Pickersgill , B. Ch. B. Heiser, and J. McNeill. 1979. Numerical taxonomic studies on variation and domestication in some species of *Capsicum*. *In*: The Biology and Taxonomy of the Solanaceae. J. G. Hawkes, R. N. Lester and A. D. Skelding (eds.). Academic Press, London. pp. 679-700.

Pla, E. 1986. Análisis multivariado: método de componentes principales. Secretaría general de la Organización de los Estados Americanos. Washington, D. C. 94 p.

Rick, C. M. 1950. *Capsicum pubescens* a little-known pungent pepper from Latin America. Mo. Bot. Gard. Bull. 38:36-42.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1994. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. SARH-Secretaría de Planeación. Tomo I. D. F., México. 708 p.

Simón, M., C. Moya y N. Fonseca. 1994. Comportamiento de variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en condiciones de primavera. Cultivos Tropicales 15:69-72.

Tamayo J., L. 1980. Geografía Moderna de México. Trillas. México. 400 p.